



免费赠送
电子课件

高等学校应用型特色规划教材

电气与PLC 控制技术

蔡红斌 主编
郭和伟 孙梅 董泽芳 副主编



清华大学出版社

高等学校应用型特色规划教材

电气与 PLC 控制技术

蔡红斌 主编

郭和伟 孙 梅 董泽芳 副主编

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书为高等学校应用型特色规划教材,是针对目前应用型本科院校、高等职业院校普遍将继电器接触器控制与 PLC 控制技术进行整合的教学实际,并充分考虑电气控制技术的应用与发展及对“高技能型”人才的要求而编写的。

全书内容分两个部分共 12 章。第 1~4 章主要介绍常用低压电器、电气控制线路基本环节的工作原理,并对普通机床电气控制线路做了分析,为电气控制系统设计、制造与维护打下基础;第 5~12 章为 PLC 控制技术部分,以三菱 FX1N、FX2N 小型 PLC 为例,系统地介绍了 PLC 的组成、工作原理、内部软元件、PLC 基本指令、步进指令、功能指令、编程工具、特殊功能模块和 PLC 控制系统的设计与应用。章后有适量的习题,方便读者复习巩固。

本书可作为应用型本科院校、高等职业院校电类、机电类、数控类等相关专业的教材,也可作为应用型本科教育、成人教育、中等职业教育电气与 PLC 控制技术的相关教材,还可供相关从业人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

电气与 PLC 控制技术/蔡红斌主编;郭和伟,孙梅,董泽芳副主编. —北京:清华大学出版社,2007.8
(高等学校应用型特色规划教材)

ISBN 978-7-302-15861-5

I. 电… II. ①蔡… ②郭… ③孙… ④董… III. ①电气设备—自动控制—高等学校—教材 ②可编程控制器—高等学校—教材 IV. TM762

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 116395 号

责任编辑:李春明

封面设计:陈刘源

责任校对:周剑云

责任印制:孟凡玉

出版发行:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn> 邮 编:100084

c-service@tup.tsinghua.edu.cn

社总机:010-62770175 邮购热线:010-62786544

投稿咨询:010-62772015 客户服务:010-62776969

印刷者:北京市世界知识印刷厂

装订者:三河市李旗庄少明装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:19.25 字 数:460 千字

版 次:2007 年 8 月第 1 版 印 次:2007 年 8 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:26.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:020611-01

前 言

本书是针对目前高等职业院校普遍将继电器接触器控制与 PLC 控制技术进行整合的教学实际,并充分考虑电气控制技术的应用与发展及对“高技能型”人才的要求而编写的。

本书可作为应用型本科院校、高等职业院校电类、机电类、数控类等相关专业的教材,也可作为应用型本科教育、成人教育、中等职业教育电气与 PLC 控制技术的相关教材,还可供相关从业人员参考。

本书共分 12 章。第 1~4 章主要介绍常用低压电器、电气控制线路基本环节的工作原理,并对普通机床电气控制线路做了分析,培养电气控制系统设计、制造与维护的基本能力。第 5~12 章为 PLC 控制技术部分,以三菱 FX1N、FX2N 小型 PLC 为例,系统地介绍了 PLC 的组成、工作原理、内部软元件、PLC 基本指令、步进指令、功能指令、编程工具、特殊功能模块和 PLC 控制系统的设计与应用,培养 PLC 编程及应用能力。

本书兼顾电气控制技术及 PLC 应用技术的教学重点,并使它们前后承接、相互照应。本着结合工程实际、理论与实践结合、以项目驱动、突出技术应用的原则,精选内容,做到通俗易懂,便于自学。

本书在教学使用过程中,可根据不同专业、课时多少,适当选择教学内容,有些内容可安排在实验、实训、课程设计、毕业设计中进行,效果更好。

本书由湖北职业技术学院蔡红斌主编,参加编写的还有郭和伟、曾建新、赵金伟、乐道平、孙梅、董泽芳等教师。

限于编者水平,书中错误和不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。此外,在本书的编写过程中参阅了多种同类教材和著作。特向其编、著者致敬。

编 者

目 录

第 1 章 常用低压电器	1	1.7.2 低压隔离器	30
1.1 概述	1	1.8 电子电器简介	34
1.1.1 电器的定义	1	1.8.1 电子电器的特点和主要 技术参数	34
1.1.2 低压电器的分类	1	1.8.2 半导体时间继电器	35
1.1.3 低压电器发展概况	3	1.8.3 接近开关	37
1.2 低压电器的基础知识	4	1.8.4 固态继电器	38
1.2.1 电磁机构	4	习题	39
1.2.2 触点系统	6	第 2 章 电气控制线路的基本环节	42
1.2.3 灭弧系统	7	2.1 电气控制线路图及其绘制规则	42
1.3 接触器	9	2.1.1 电气控制系统图的分类	42
1.3.1 接触器结构和工作原理	9	2.1.2 电气图的图形符号和 文字符号	44
1.3.2 接触器的主要技术参数	11	2.1.3 电气原理图的绘制规则	48
1.3.3 使用接触器的注意事项	12	2.2 三相鼠笼式异步电动机的典型 控制线路	49
1.4 继电器	12	2.2.1 三相鼠笼式异步电动机直接 启动控制线路	49
1.4.1 电磁式继电器	13	2.2.2 三相鼠笼式异步电动机降压 启动控制线路	54
1.4.2 热继电器	15	2.2.3 三相鼠笼式异步电动机的 制动控制线路	58
1.4.3 时间继电器	17	2.2.4 三相鼠笼式异步电动机的 调速控制线路	61
1.4.4 速度继电器	19	2.3 直流电动机的典型控制线路	64
1.4.5 液位继电器	20	2.3.1 直流电动机的启动控制线路	64
1.4.6 干簧继电器	20	2.3.2 直流电动机的正反 转控制线路	64
1.5 主令电器	21	2.3.3 直流电动机的制动控制线路	64
1.5.1 控制按钮	21	2.3.4 直流电动机的调速控制线路	65
1.5.2 行程开关	22	2.4 电气控制线路中的保护措施	66
1.5.3 主令控制器	23	2.4.1 短路保护	66
1.5.4 信号灯	24	2.4.2 过载保护	66
1.6 熔断器	24	2.4.3 过流保护	66
1.6.1 熔断器的结构及保护特性	24		
1.6.2 熔断器的主要技术参数及 分类	24		
1.6.3 常用的低压熔断器	25		
1.6.4 熔断器型号说明	27		
1.6.5 熔断器的安装、使用和维护	27		
1.7 低压断路器和低压隔离器	28		
1.7.1 低压断路器	28		

2.4.4 失压、欠压、过压保护	67	4.2 电力拖动方案的确定和电动机 的选择	103
2.4.5 弱磁和失磁保护	67	4.2.1 电力拖动方案的确定	103
2.4.6 其他保护	67	4.2.2 拖动电动机的选择	103
习题	68	4.3 电气控制电路设计的一般要求	104
第 3 章 普通机床电气控制线路分析	70	4.4 电气控制电路设计的方法与步骤	108
3.1 电气控制线路分析基础	70	4.4.1 电气控制电路设计 方法简介	108
3.1.1 电气线路的一般分析方法	70	4.4.2 分析设计法的基本步骤	108
3.1.2 读图的一般方法和步骤	71	4.4.3 分析设计法设计举例	109
3.2 普通车床的电气控制线路分析	72	4.5 常用控制电气的选择	112
3.2.1 主要结构及运动形式	72	4.5.1 接触器的选择	112
3.2.2 电力拖动的特点及控制要求	73	4.5.2 电磁式继电器的选择	112
3.2.3 C6140 型卧式车床的电气 控制线路分析	73	4.5.3 热继电器的选择	113
3.2.4 常见故障分析	77	4.5.4 时间继电器的选择	113
3.3 普通磨床的电气控制线路分析	78	4.5.5 熔断器的选择	114
3.3.1 主要结构及运动形式	79	4.5.6 开关电器的选择	114
3.3.2 电力拖动的特点及控制要求	80	4.5.7 控制变压器的选择	115
3.3.3 M7130 型平面磨床的电气 控制线路分析	80	4.6 电气控制的施工设计与施工	116
3.3.4 常见故障分析	83	4.6.1 电气设备总体配置设计	116
3.4 普通钻床的电气控制线路分析	84	4.6.2 电气元器件布置图的设计	116
3.4.1 主要结构及运动形式	85	4.6.3 电气控制装置接线图的 绘制	116
3.4.2 电力拖动的特点及控制要求	86	4.6.4 电力装备的施工	116
3.4.3 Z3040 型摇臂钻床的电气 控制线路分析	86	4.6.5 检查、调整与试运行	117
3.4.4 常见故障分析	89	习题	117
3.5 万能铣床的电气控制线路分析	90	第 5 章 PLC 概述	119
3.5.1 主要结构及运动形式	90	5.1 PLC 的产生及定义	119
3.5.2 电力拖动的特点及控制要求	91	5.1.1 可编程控制器的产生	119
3.5.3 X62W 型万能铣床的电气 控制线路分析	93	5.1.2 可编程控制器的名称演变	120
3.5.4 常见故障分析	100	5.1.3 可编程控制器的定义	120
习题	101	5.2 PLC 的特点及应用	121
第 4 章 电气控制系统设计	102	5.2.1 可编程控制器的特点	121
4.1 电气控制设计的原则和内容	102	5.2.2 可编程控制器的应用	122
4.1.1 电气控制设计的原则	102	5.3 PLC 的分类和发展	123
4.1.2 电气控制设计的基本内容	102	5.3.1 可编程控制器的分类	123
		5.3.2 可编程控制器的发展	124
		5.3.3 PLC、继电器、单片机控制	

系统的比较	126	6.2.9 数据寄存器 D	158
5.4 PLC 的基本组成	126	6.2.10 变址寄存器 V/Z	159
5.4.1 中央处理器(CPU)	127	习题	160
5.4.2 存储器	128	第 7 章 基本逻辑指令	161
5.4.3 输入/输出接口	128	7.1 基本逻辑指令简介	161
5.4.4 电源	131	7.1.1 LD、LDI、OUT 指令	161
5.4.5 扩展接口	132	7.1.2 AND、ANI 指令	162
5.4.6 通信接口	132	7.1.3 OR、ORI 指令	163
5.4.7 智能输入/输出接口	132	7.1.4 LDP、LDF、ANDP、ANDF、 ORP、ORF 指令	164
5.4.8 编程器	132	7.1.5 ORB 指令	165
5.4.9 其他部件	132	7.1.6 ANB 指令	166
5.5 PLC 的工作原理	132	7.1.7 MPS、MRD、MPP 指令	166
5.5.1 PLC 的工作方式	132	7.1.8 MC、MCR 指令	168
5.5.2 PLC 的工作过程	135	7.1.9 SET、RST 指令	169
5.5.3 PLC 的中断处理	135	7.1.10 PLS、PLF 指令	171
5.6 PLC 的编程语言	136	7.1.11 NOP 指令	172
5.6.1 梯形图编程语言	137	7.1.12 INV 指令	173
5.6.2 布尔助记符编程语言 (语句表)	137	7.1.13 END 指令	173
5.6.3 功能表图编程语言	137	7.2 PLC 编程规则与程序分析	174
5.6.4 功能模块图编程语言	138	7.2.1 PLC 梯形图编程规则	174
5.6.5 结构化语句描述编程语言	138	7.2.2 PLC 执行用户程序的 过程分析	176
习题	139	7.3 常用基本环节编程	177
第 6 章 三菱 FX 系列 PLC 简介	140	7.3.1 自锁、互锁、联锁控制	177
6.1 FX 系列 PLC 的硬件配置及 其技术指标	140	7.3.2 定时器扩展应用	179
6.1.1 FX 系列 PLC 的命名	140	7.3.3 分频器	181
6.1.2 FX 系列 PLC 的基本构成	141	7.3.4 单按钮启停控制电路	182
6.1.3 FX 系列 PLC 的技术指标	144	7.3.5 微分脉冲电路	182
6.2 FX 系列 PLC 的编程元件	145	7.3.6 计数器扩展应用	183
6.2.1 输入继电器 X	145	7.4 基本指令的编程方法与应用	184
6.2.2 输出继电器 Y	146	7.4.1 经验设计法	184
6.2.3 辅助继电器 M	147	7.4.2 时序电路设计方法	187
6.2.4 状态器 S	150	习题	191
6.2.5 定时器 T	150	第 8 章 步进指令	194
6.2.6 计数器 C	152	8.1 SFC 图	194
6.2.7 指针 P/L	157	8.2 步进指令简介	195
6.2.8 常数 K/H	158		

8.2.1	步进梯形图指令	195	9.5.4	除法指令	231
8.2.2	步进梯形图指令的动作与 SFC 表示	197	9.5.5	加 1/减 1 指令	232
8.2.3	SFC 图与 STL 图的互换	199	9.5.6	逻辑运算指令	232
8.2.4	SFC 流程的形态	200	9.6	循环与移位指令	235
8.3	SFC 图的编程应用	205	9.6.1	位右移/位左移指令	235
8.3.1	单流程的编程应用	205	9.6.2	FIFO 写入/读出指令	237
8.3.2	并行分支与汇合流程的 编程应用	208	9.7	数据处理指令	241
8.3.3	选择性分支与汇合流程的 编程应用	208	9.7.1	区间复位指令	241
习题	210	9.7.2	解码指令	242
第 9 章	功能指令	212	9.7.3	编码指令	243
9.1	功能指令的基本形式	212	习题	245
9.1.1	功能指令的基本格式	212	第 10 章	编程工具及其使用	246
9.1.2	数据长度	213	10.1	FXGP/WIN-C 编程软件及其使用	246
9.1.3	指令类型	213	10.1.1	概述	246
9.1.4	操作数的形式	213	10.1.2	梯形图编程操作	248
9.1.5	变址寄存器(V, Z)的应用	213	10.1.3	文件操作	251
9.2	功能指令一览表	214	10.1.4	打印操作	252
9.3	程序控制指令及应用	218	10.1.5	PLC 操作	252
9.3.1	条件跳转指令	218	10.1.6	监控操作	253
9.3.2	子程序调用与子程序 返回指令	219	10.1.7	选项操作	254
9.3.3	与中断有关的指令	220	10.2	MELSOFT 编程软件简介	256
9.3.4	主程序结束指令	221	10.2.1	GX Developer 软件 (SW□D5C-GPPW)的介绍	256
9.3.5	监视定时器指令	221	10.2.2	GX Simulator (SW□D5C-GPPW)的介绍	257
9.3.6	循环指令	222	10.2.3	MELSOFT 软件家族	259
9.4	传送与比较指令	223	第 11 章	PLC 的特殊功能模块	260
9.4.1	比较指令	223	11.1	扩展设备的类型及使用	260
9.4.2	区间比较指令	223	11.2	模拟量输入/输出模块	262
9.4.3	传送指令	224	11.2.1	模拟量输入模块 FX2N-2AD	262
9.4.4	块传送指令	224	11.2.2	模拟量输出模块 FX2N-2DA	266
9.4.5	BCD/BIN 指令	225	11.3	数据链接与通信功能模块	270
9.5	四则运算与逻辑运算指令	229	11.3.1	FX 系列 PLC 数据链接与 通信功能概况	270
9.5.1	加法指令	229			
9.5.2	减法指令	230			
9.5.3	乘法指令	230			

11.3.2 FX2N-232-BD 通信板 简介	272	12.1.1 PLC 控制系统设计的基本 步骤	284
11.3.3 FX2N-232-BD 通信板的 应用	274	12.1.2 PLC 硬件系统设计	286
11.3.4 FX2N-485-BD 通信板的 通信功能及应用	276	12.1.3 PLC 软件系统设计方法及 步骤	288
11.4 其他特殊功能模块概述	282	12.2 PLC 的安装与维护	290
11.4.1 位置控制类模块简介	282	12.2.1 可编程控制器的安装和 接线	290
11.4.2 人机界面(HMI)特殊模块 简介	283	12.2.2 可编程控制器的维护和 检修	293
习题	283	习题	294
第 12 章 PLC 控制系统的设计与应用	284	参考文献	295
12.1 PLC 控制系统设计方法	284		

第 1 章 常用低压电器

本章要点

- 低压电器的定义、分类、发展与基础知识
- 常用低压电器的基本组成与工作原理
- 常用低压电器的图形符号、文字符号及其用途
- 常用低压电器的型号、规格、主要参数及其正确选择、使用与维护方法

本章难点

- 常用低压电器的型号、规格、主要参数及其正确选择、使用与维护方法

本章主要讲述低压电器的定义、分类、发展与基础知识，常用低压电器的基本组成、工作原理、图形符号、文字符号、用途、型号、规格、主要参数及其正确选择、使用与维护方法。

1.1 概 述

在人类生活的各个领域，电能的应用愈来愈广泛。

1.1.1 电器的定义

电器是一种能根据外界的信号(机械力、电动力和其他物理量)，自动或手动接通和断开电路，从而断续或连续地改变电路参数或状态，实现对电路或非电对象的切换、控制、保护、检测和调节用的电气元件或设备。

根据其工作电压高低，电器可分为高压电器和低压电器。

低压电器：常指工作在交流额定电压 1200 V 及以下，直流额定电压 1500 V 及以下的电路中起通断、保护、控制或调节作用的电气设备。

1.1.2 低压电器的分类

1. 按所控制的对象分类

可分为低压配电电器和低压控制电器。

- (1) 低压配电电器。用于低压供电系统中，如低压断路器、低压隔离器等。
- (2) 低压控制电器。用于电气控制线路中，如继电器、接触器等。

2. 按所起作用分类

可分为控制电器、主令电器、保护电器和执行电器。

- (1) 控制电器。用来控制电路的通断，如开关、继电器、接触器等。

(2) 主令电器。用来发送控制指令以控制其他电器的动作，如按钮、主令开关、行程开关等。

(3) 保护电器。用于对电路和电气设备进行安全保护，如熔断器、热继电器、避雷器等。

(4) 执行电器。用来执行某种动作或传动功能，如电磁铁、电磁离合器等。

3. 按动作性质分类

可分为自动控制电器和非自动控制电器。

(1) 自动控制电器。按照电信号或非电信号的变化而自动动作的电器，如继电器、接触器等。

(2) 非自动控制电器。由人工直接操作而动作的电器，如按钮、开关等。

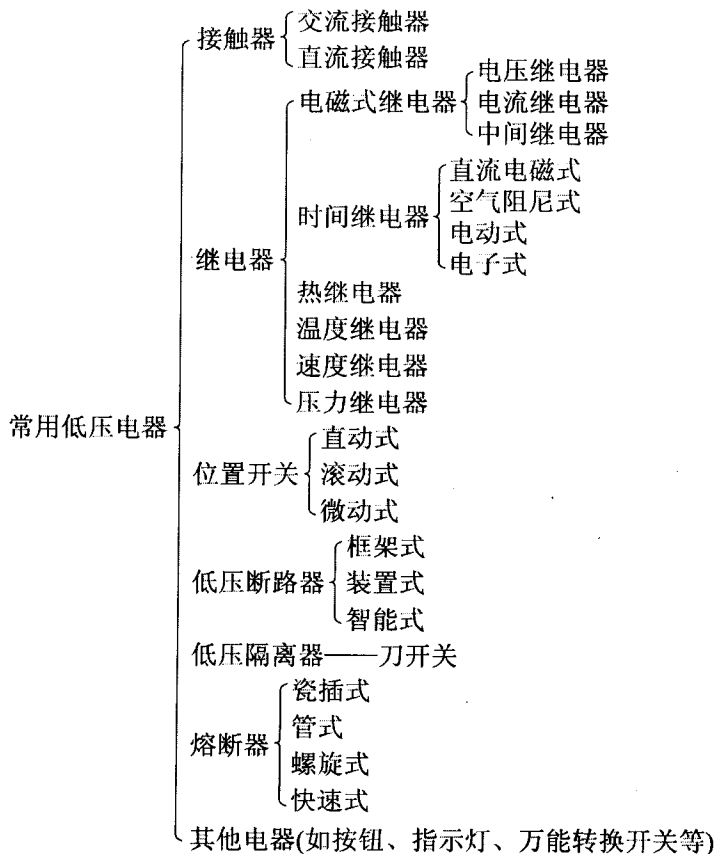
4. 按工作原理分类

可分为电磁式电器和非电量控制电器。

(1) 电磁式电器。根据电磁感应原理来工作的电器，如继电器、接触器等。

(2) 非电量控制电器。依靠外力或非电量的变化而动作的电器，如按钮、温度继电器等。

常用的低压控制电器的分类如下。



1.1.3 低压电器发展概况

新一代产品除了高性能、小型化、电子化、智能化、模块化、组合化外，其主要特征是可通信、高可靠、维护性能好、符合环保要求等。特别是新一代产品能与现场总线系统连接，能实现网络化。其特点如下。

1. 引入现场总线技术

现场总线系统发展与应用将从根本上改变传统的低压配电与控制系统及其装置，同时给传统低压电器产品注入高新技术，使低压电器产品功能发生质的飞跃。

2. 固态低压电器进入实用阶段

电力电子技术的发展与应用使固态低压电器产品进入实用阶段。利用晶闸管(双向可控硅)作为主回路发展的固态接触器、固态继电器、软启动器等产品已进入商品化阶段。目前国外软启动器已进入中国市场，国内许多企业也正在开发此类产品。柔性电器技术低压电器上的应用和混合式开关电器是低压电器产品发展的又一个方向。

3. 低压真空电器进一步发展

真空技术的发展与应用，使低压真空电器获得进一步发展。20世纪90年代中期，由于真空电器大电流分断技术取得新的突破，使低压真空断路器开始进入实用阶段。低压真空断路器关键技术主要涉及以下三个方面：大电流分断技术、灭弧室结构设计、触头材料及真空工艺等；提高真空电器短时耐受电流技术；降低高分断能力真空灭弧室制造成本。

4. 传统产品向两极发展

传统低压电器产品在提高产品综合性的同时，开始向高性能与经济型两极发展。新一代经济产品仍保留我国第三代产品的基本特征，但控制适度、合理的技术指标，产品进一步小型化与低成本，重点针对中国市场。

5. 发展环保产品

环保产品的发展与应用是低压电器产品发展的又一个动向。环保电器的定义是制造与使用时不污染环境，废旧产品便于回收。环保电器的基本要求包括：触头与灭弧系统分断电弧时不产生有害气体；选用材料无污染且便于回收，根据这一要求，国外新一代塑壳断路器开始采用热塑性工程塑料；降低低压电器产品运行时的机械干扰(噪声)与电磁干扰(符合IMC要求)，提倡发展无飞弧电器、真空电器与固态电器。

6. 防雷技术成熟

随着终端用电设备大量采用高灵敏电子设备、电脑及网络系统广泛采用，雷电对低压配电系统及终端用电设备，乃至人身安全造成的危害越来越引起有关部门和专家的重视。国外低压配电系统电涌保护技术已基本成熟。

7. 成套装备有新要求

低压成套装备逐步向紧凑型、智能化、可通信、高防护发展。

8. 触头材料不断翻新

无污染触头材料、无银特种电触头材料以及纳米技术在电触头上得到广泛应用。

1.2 低压电器的基础知识

电磁式电器是电气控制系统中最常见的低压电器，从其基本结构上看，大部分由电磁机构、触头系统和灭弧装置三个部分组成，如图 1.1 所示。

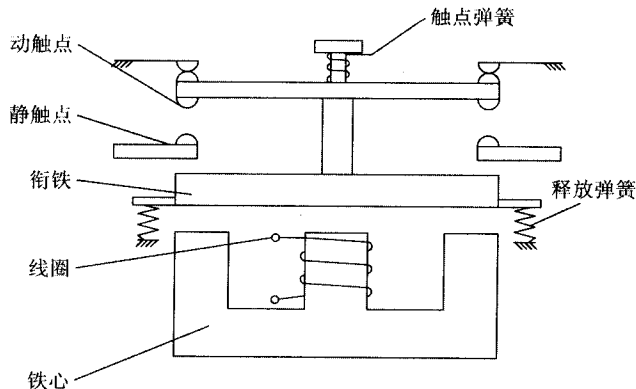


图 1.1 电磁式电器工作原理示意图

1.2.1 电磁机构

1. 电磁机构的结构形式

电磁机构是电磁式低压电器的感测部分，其作用是将电磁能转换为机械能，从而带动触头动作，达到接通或分断电路的目的。

电磁机构由吸引线圈和磁路两部分组成。其中磁路包括铁心、衔铁和空气隙。其工作原理是：当吸引线圈通过一定的电压或电流后，产生磁场，磁通经铁心、衔铁和工作气隙形成闭合回路，产生电磁吸力，衔铁即被吸向铁心，从而带动衔铁上的触头动作，以完成触头的断开和闭合。

电磁机构的结构形式按铁心形式分有单 E 形、单 U 形、螺管形、双 E 形等；按动作方式分有直动式、转动式等。

根据吸引线圈通电电流的性质不同，可分为直流电磁线圈和交流电磁线圈。对于直流电磁线圈，铁心和衔铁可以用整块电工软钢制成。对于交流电磁线圈，为了减少因涡流等造成的能量损失和温升，铁心和衔铁用硅钢片叠成。当线圈并联于电路工作时，称为电压线圈，其特点是线圈的匝数多，线径细；当线圈串联于电路工作时，称为电流线圈，其特点是线圈的匝数少，线径粗。

2. 电磁机构的工作原理

电磁机构的工作原理常用吸力特性和反力特性来描述，如图 1.2 所示。

吸力特性：是指电磁吸力随衔铁与铁心间气隙 δ 变化的关系曲线。

反力特性：是指反作用力 F_r (使衔铁释放的力) 与气隙 δ 的关系曲线。

1) 反力特性

电磁机构使衔铁释放的力一般有两种：一种是利用弹簧的反力；另一种是利用衔铁的自身重力(可忽略)。

弹簧的反力与其形变的位移 X 成正比，其反力特性可写成

$$F_r = K_1 X \quad (1.2.1)$$

2) 吸力特性

电磁机构的电磁吸力可以按下式求得

$$F = \frac{10^7}{8\pi} B^2 S \quad (1.2.2)$$

式中， F 为电磁吸力(N)， B 为气隙中的磁感应强度(T)， S 为磁极截面积(m²)。

(1) 直流电磁铁的吸力特性

直流电磁线圈通入的是恒定的直流电流，即在外加电压和线圈电阻 R 一定的条件下其电流值 I 也一定，与空气气隙的大小无关。

$$I = \frac{U}{R} \quad (1.2.3)$$

但作用在衔铁上的吸力 F 却与空气气隙 δ 的大小有关。

$$F \propto \phi^2 \propto G_m^2 \propto \frac{1}{\delta^2} \quad (1.2.4)$$

当电磁铁刚启动时，空气气隙最大，此时磁路中磁阻最大，磁感应强度较小，故吸力最小；当衔铁完全吸合后，空气气隙最小，此时磁路中磁阻最小，磁感应强度较大，吸力最大。

(2) 交流电磁线圈

交流电磁线圈通入的是交变电流，磁感应强度为交变量，即

$$B = B_m \sin \omega t \quad (1.2.5)$$

由式(1.2.2)和式(1.2.5)可得

$$F = \frac{10^7}{8\pi} S B_m^2 \sin^2 \omega t = \frac{10^7}{8\pi} S B_m^2 \frac{1 - \cos 2\omega t}{2} \quad (1.2.6)$$

可见电磁吸力最大值为： $F_{\max} = \frac{10^7}{8\pi} S B_m^2$

电磁吸力最小值为： $F_{\min} = 0$ 。

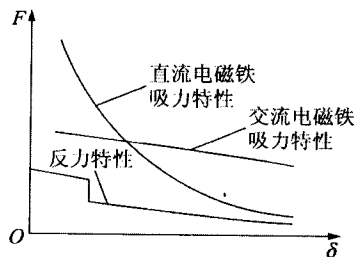


图 1.2 吸力特性与反力特性的配合

由于吸力是脉动的，使得衔铁以两倍电源频率在振动，既会引起噪声，又会使电器结构松散，触头接触不良，容易被电弧火花熔焊与蚀损。因此，必须采取有效措施，使得线

圈在交流电变小和过零时仍有一定的电磁吸力以消除衔铁的振动。为此,在磁极的部分端面上嵌入一个铜环——称为短路环(或分磁环),如图 1.3 所示。

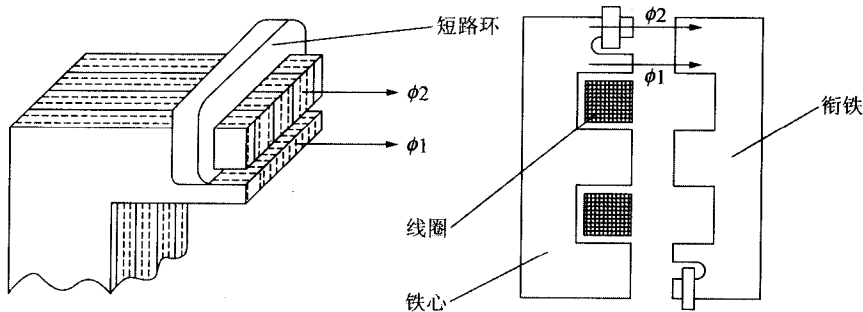


图 1.3 交流电磁铁的短路环

当磁极的主磁通发生变化时,由于在短路环中产生感应电流和磁通,将阻碍主磁通的变化,使得磁极两部分中的磁通之间产生相位差,因而磁极各部分的磁通不会同时降为零,磁极一直具有一定的电磁吸力,这就消除了衔铁的振动,也去除了噪声。

交流电磁铁刚启动时,气隙最大,磁阻最大,电感和感抗为最小,因而这时的电流为最大;在吸合过程中,随着气隙的减小,磁阻减小,线圈电感和感抗增大,电流逐渐减小。当衔铁完全吸合后,电流为最小。在电磁铁启动时,线圈的电流虽为最大,但这时的磁阻要增大到几百倍,而线圈的电流受到漏阻抗的限制,不能增加相应的倍数。因此启动时磁动势的增加小于磁阻的增加,于是磁通、磁感应强度减小,吸力较小,当衔铁吸合后,磁阻减小较多,磁动势减小较小,于是磁通、磁感应强度增大,吸力增大。

交流电磁铁工作时,衔铁与铁心之间一定要吸合好。如果由于某种机械故障,衔铁或机械可动部分被卡住,通电后衔铁吸合不上,线圈中流过超过额定值的较大电流,将使线圈严重发热,甚至烧坏。

3) 电磁机构吸力特性与反力特性的配合

在衔铁吸合过程中,其吸力特性必须始终处于反力特性上方,即吸力要大于反力;反之衔铁释放时,吸力特性必须位于反力特性下方,即反力要大于吸力(此时的吸力是由剩磁产生的)。

在吸合过程中还须注意吸力特性位于反力特性上方不能太高,否则会影响到电磁机构寿命。

1.2.2 触点系统

触点是电器的执行机构,它在衔铁的带动下起接通和分断电路的作用。触点在闭合状态下动、静触点完全接触,并有工作电流通过时,称为电接触。电接触的情况将影响触点的工作可靠性和使用寿命。影响电接触工作状况的主要因素是触点的接触电阻,因为接触电阻大时,易使触点发热而温度升高,从而使触点易产生熔焊现象,这样既影响工作可靠性又降低了触点的寿命。触点的接触电阻不仅与触点的接触形式有关,而且还与接触压力、触点材料及表面状况有关。

1. 触点的接触形式

触点接触形式有点接触、面接触、线接触三种,如图 1.4 所示,点接触式适用于小电流;面接触式适用于大电流;线接触式(又称指形接触)适用于通断次数多、大电流的场合。

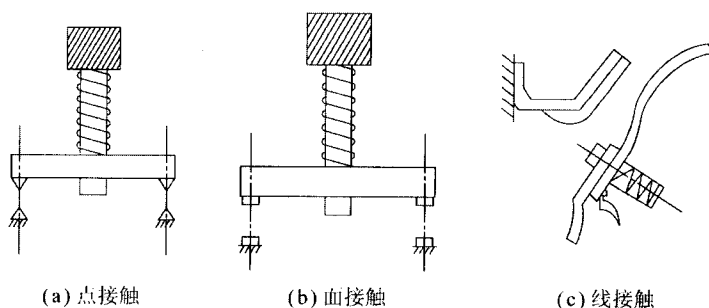


图 1.4 触点的三种接触形式

2. 触点的分类

按触点的运动情况分为动触点和静触点;按触点的职能分为主触点和辅助触点;按触点的状态可分为常开触点和常闭触点。

如图 1.5 所示,固定不动的称为静触点,由连杆带着移动的称为动触点。电器触点在电器未通电或没有受到外力作用时处于闭合位置的称为常闭(又称动断)触点,常态时相互分开的动、静触点称为常开(又称动合)触点。

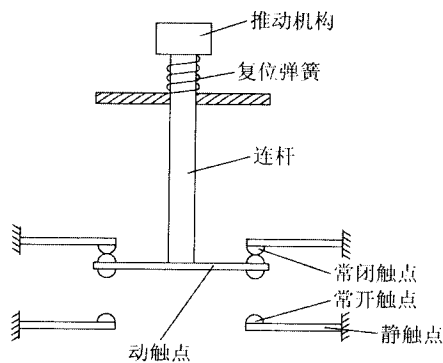


图 1.5 触头的分类

1.2.3 灭弧系统

电器触头在闭合或断开的瞬间,都会在触头间隙中由电子流产生弧状的火花,亦称电弧。炽热的电弧会烧坏触头,还会因电弧造成短路、火灾或其他事故,故应采取适当的措施熄灭电弧。在低压控制电器中,常用的灭弧方法和装置有:电动力灭弧、磁吹灭弧、栅片灭弧、灭弧罩灭弧几种。

1. 电动力灭弧

图 1.6 所示为一双断口桥式触头。当触头打开时,在断口处产生电弧。两个电弧相当于平行载流导体,产生互相排斥的电动力,使电弧向外运动,电弧被拉长并接触冷却介质

使电弧冷却而熄灭。

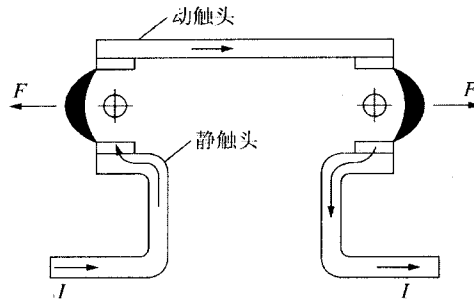


图 1.6 电动力灭弧示意图

这种灭弧方法不要专门灭弧装置，但电流较小时，电动力也小，多用在小容量的交流接触器中。当交流电流过零时，电弧更易熄灭。

2. 磁吹灭弧

如图 1.7 所示，在触头回路串一电流线圈，回路电流及其产生的磁通的方向如图所示。当触头分断产生电弧时，根据左手定则，电弧受到由纸面向里面的电磁力，使电弧拉长迅速冷却而熄灭。这种串联磁吹灭弧，电流越大，灭弧力越强。当线圈绕制方向定好后，磁吹力与电流方向无关。也可用并联磁吹线圈，这时应注意线圈的极性。

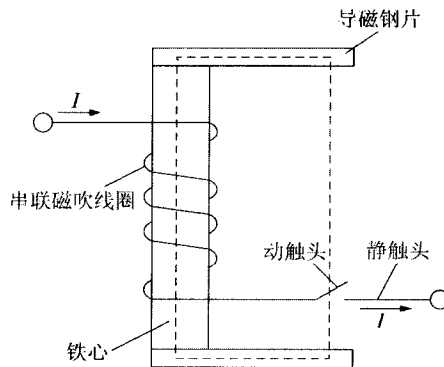


图 1.7 磁吹灭弧示意图

交直流电器均可采用磁吹灭弧方式。以直流接触器用此法为多，因为直流电弧较难熄灭。

3. 栅片灭弧

图 1.8 为栅片灭弧示意图，在耐热绝缘罩内卡放一组镀锌钢片称为灭弧栅片。当触头分开时所产生的电弧由于电动力作用被推向灭弧栅片，电弧与金属片接触易于冷却，并且电弧被分割成许多段，每一个栅片相当于一个电极，当交流电弧过零时在新阴极表面产生阴极压降，使电弧被熄灭。

栅片灭弧效果用在交流时比直流时好得多，交流电器多采用栅片灭弧。